入港操船における VLCC 操縦性能比較

本 田 啓之輔*・烏 野 慶 一*

Comparision of Manoeuvrabilities for VLCC during Berth Approach

Keinosuke HONDA and Keiichi KARASUNO

Abstract

This paper presents the mathematical simulation technique to verify ship manoeuvres for VLCC during the berth approach under current. For example, authors tried to clarify whether the 230,000-dwt tanker is able to manoeuvre easily at 2/3 loaded draught, which is equal to the full loaded draught of the 100,000-dwt tanker, on a given course line entering Bannosu Sea-berth in Bisan Seto where was passed by the 100,000-dwt tanker.

In this paper, the manoeuvring capabilities are first described, which were got from the regression analysis on results of full-scale test of VLCC, and then the simulation process is explained, where the input data used for the simulation contains the results of the full-scale test on the turning, reverse stopping and Z-manoevres of the 230,000-dwt tanker at the 2/3 loaded draught.

1. は じ め に

VLCC (超大型船) が manoeuvring speed で入港しようとするとき, その船の喫水は水深によって制限される。いま港の水深からみて 10 万 DW トン級の船が満載喫水で, しかも或る under-keel clearance で入港可能な港に, 同じ喫水の 20 万 DW トン級の船が入港しようとするとき, 入港操船の難易さにどのような差があるだろうか, VLCC の旋回性, 逆転停止性能の海上試運転成績からの比較と, 一つの事例研究として行った入港操船の航跡によるシミュレーション結果の両面から検討した。

幸にして操縦性能の資料を得るため 10 万 DW トンタンカーの満載喫水とほぼ同一喫水の 3/4 載貨状態の 23 万 DW トンタンカーで操縦性能に関する実船実験を行う機会を得た。入港操船のシミュレーション実行に際しては, これらの実船実験をもとに他の VLCC の試運転成績を参考にしながら必要な入力値を定めた。これらの結果から操船上参考になると思われる知見を得たので, ここに報告する。

2. 超大型船の試運転成績からみた運動性能の比較

船の操縦性は広くとらえると回頭と増減速の操縦性に大別できる。この具体的な尺度として試運転成績では, 舵角一杯における Max. advance と Max. transfer, 前進全速中に機関を Full astern にかけたときの crash astern stopping distance がある。

2.1 相関式からみた旋回性の比較

10 万 DW トン級タンカーと 20 万 DW トン級タンカーの満載時の Max. advance と Max. transfer を比較するため, 5 万 DW トンから 30 万 DW トンに至る超大型船約 50 隻のデータ⁽¹⁾を整理し, 直線相関式と曲線

* 正会員 神戸商船大学 (神戸市東灘区深江南町 5 丁目 1-1)

相関式を求めた。このうち相関係数 (R) の高い式を次に示す。

$$\text{Max. advance (S)} = 609.6 + 0.00144 (\text{DW}) \quad (R=0.608)$$

$$\text{〃 (P)} = -549.7 + 431.8 \log_{10} (\text{DW}) \quad (R=0.699)$$

$$\text{Max. transfer (S)} = 729.4 + 0.000898 (\text{DW}) \quad (R=0.541)$$

$$\text{〃 (P)} = -355.5 + 384.6 \log_{10} (\text{DW}/100) \quad (R=0.662)$$

$$\text{Length of ship (L}_{oa}) = -496.4 + 152.5 \log_{10} (\text{DW}) \quad (R=0.982)$$

上式の相関式を使って 10 万 DW トンと 20 万 DW トンで計算した旋回性能は表 1 に示すとおりである。いずれも満載状態であり船の長さに対する比率では 20 万 DW トンの方が旋回径比の小さい値になっているが、必要な旋回水面となると、やはり 10 万 DW トンタンカーの約 1.2 倍の長さのスペース増加を見込む必要がある。

次に満載とバラスト状態の旋回性を比較してみる (図 1, 2)。次に示す相関式

$$\text{(満載状態)} \quad \text{左右の Max. advance の平均値} = 693.4 + 0.00092 \cdot \Delta \quad (R=0.680)$$

$$\text{左右の Max. transfer の平均値} = 752.3 + 0.00082 \cdot \Delta \quad (R=0.600)$$

$$\text{(バラスト状態)} \quad \text{左右の Max. advance の平均値} = 667.5 + 0.00167 \cdot \Delta \quad (R=0.532)$$

$$\text{左右の Max. transfer の平均値} = -907.3 + 358.3 \log_{10} (\Delta) \quad (R=0.333)$$

表 1 相関式から推算した VLCC の
旋回性比較 (満載)

DW	10万トン級	20万トン級	比 率
Loa	266m	312m	1.17
Max. advance (S)	754	898	1.19
〃 (P)	746	876	1.17
Max. transfer (S)	819	909	1.11
〃 (P)	798	914	1.15
Max. Ad./Lpp (S)	3.18	3.11	0.98
〃 (P)	3.15	3.05	0.97
Max. Tr./Lpp (S)	3.41	3.23	0.95
〃 (P)	3.36	3.20	0.95

(注) Lpp=Loa×95%, Ad.=Advance,
Tr.=Transfer, (S)=右旋回, (P)=左旋回

をみると、各平均値のバラツキ (相関係数 R が 1 に近いほどバラツキが少ない) はバラスト状態よりも満載状態の方が少ない。また旋回性は平均的な傾向としてみる限り、概してバラスト状態の方が満載状態よりもやや良い。

2.2 10 万 DW トンタンカーと 20 万 DW トンタ

ンカーの試運転成績からみた操縦性能の比較

海上現場における操船には性能値を無次元化するよりも有次元数で表示するのが適当である。

実施された試験は、回頭性能に関しては保針性能に問題にするものでなく、むしろ大舵角における旋回能力または回避能力を主眼点にしたものである。また前後進性能についてはプロペラ回転数を大幅に操作する停止性能が主体となっている。したがってこれらの限られた資料から得られる性能はやはりそれ相応の運動におけるものであって、保針性能や主機関の小幅な操

図 1 排水量と最大縦距の関係 (満載)

図 2 排水量と最大縦距の関係 (バラスト)

表 2 資料船の海上試運転状態 (満載)

DW	10 万 トン級	20万トン級			
船 名	A	C	D	E	
L_{pp} (m)	246	283	300	304	
B (m)	40.2	48.9	50.0	52.4	
平均喫水(m)	14.19	18.08	19.11	20.00	
排水トン(t)	121,700	215,200	242,400	272,700	
舵面積比	1/67	1/59	1/64	1/62	
船速(k/t)	15.4	15.0	16.5	16.4	
主機関 (馬力)	Diesel (23,000)	Diesel (30,400)	Turbine (36,000)	Turbine (34,000)	
風力 海面状態	2, 3 階級 3	3 moderate	1 階級 1, 2	2 Slight

図 3 舵角 35° 旋回力試験における航跡諸量

作まで拡張した性能は得られない。

比較した VLCC は表 2 のもので、操舵による回頭性能およびプロペラによる停止性能の概略は 10 万 DW トンタンカー A 船に対して 20 万 DW トンタンカー C, D, E 船と比較した。その結果は次のとおりである。

(1) 舵角 35° 旋回の性能 (図 3~6)

航跡に関する advance, transfer, tactical diameter については大差は認められないが、やや大き目である。初期旋回における諸量、すなわち 90° 回頭に要した時間 t_{90} 、90° 回頭時の旋回角速度 $\dot{\phi}_{90}$ 、90° 回頭時の船速 V_{90} と速力低下率 V_{90}/V_0 のうち、 V_{90} および V_{90}/V_0 は特に大きく、旋回による速力減少は少ない。また回頭角 90° における旋回力指数 K_{90} 、または等価抵抗係数 $1/K_{90}$ は大きな差は認められないが、追従性指数 T_{90} および等価質量 T_{90}/K_{90} は大きい数値を示して応答性が悪い。一方定常旋回においては回頭角速度は遅く船速の減少も少ない。A 船の定常旋回径は速度減少が大きいためか極端に小さくなっている。

(2) 10° Z 操縦試験の性能 (図 7, 8)

A 船, C 船 2 隻だけの比較ではあるが、試験初期での旋回力指数 K_4 および追従性指数 T_4 は、C 船で負の値となって針路不安定な特性を示している。等価抵抗係数 $1/K_4$ も負値であるから、抵抗力でなく、むしろ推力

図 4 舵角 35° 旋回力試験における 90° 回頭の諸量

図 5 舵角 35° 旋回力試験における旋回初期の操縦性指数

図 6 舵角 35° 旋回力試験における定常旋回中の諸量

図 7 右 10° Z 試験における操縦性指数

となって運動を止める働きがない。等価質量 T_4/K_4 も相当大きい。一方、試験後期の操縦性指数 K_{68} , T_{68} は共に大きく追従性が悪くなっている。このことは回頭遅れの時間 T_L が大きいことからいえる。ただし上記の記号は図 8 に示すもので、操縦運動を 1 次系線型方程式の $T\ddot{\phi} + \dot{\phi} = K \cdot \delta$ をニュートンの運動方程式の形に書きかえて

$$(T/K)\ddot{\phi} = \delta - (1/K)\dot{\phi}$$

と表したときに得られる物理学的諸量, すなわち等価質量 (T/K) , 等価抵抗係数 $(1/K)$ で比較した。

(3) 舵効試験の性能

A 船の資料がないので比較できないが, C, D, E 船と同じ程度の 2 ノット前後とみられる。

(4) 停止惰力試験の性能 (図 9)

初速 V_0 に対する速力低下率 V/V_0 が 0.3 になるまでの所要時間および航走距離は必ずしも大きくなるとはいえず, 船型に依存するようである。特に回頭運動による速力低下の影響が相当大きいのであろう。前後進運動方程式を $T_{n4}\dot{V} + V = K_{n4} \cdot n$ (n はプロペラ回転数) で近似したときの時定数 T_{n4} も同様ながいえる。

(5) 後進惰力試験の性能 (図 10, 11)

停止に至る所要時間や停止縦距離 (head reach) や停止横距離 (side reach) は E 船を除いて特に大きいとはいえないが, なかでも side reach は多少大きくなっている。後進惰力時定数 T_{n4} も大き目に出ていて特に E 船で大きい。回頭運動による速力低下の影響も混入した結果であるが, 前進時の停止性能はやや悪い。

(6) 後進中の前進惰力試験の性能

後進全速中に前進全速をかけるこの惰力試験では, 停止時間や停止縦距離は同程度かむしろ小さ目であって, 後進時の停止性能は良い。

以上の諸性能を比較した結果から総じていえば, 回頭運動にしる前後進の停止運動にしる大きな運動を誘起する操縦運動では 10 万 DW トン級 A 船と 20 万 DW トン級 C, D, E 船とは大きい差はないといえるだろう。

図 8 操縦性指数の記号

図 9 停止惰力試験における $V/V_0=0.3$ での諸量

図 10 後進惰力試験における停止時の諸量

図 11 後進惰力試験における諸量

ただ $10^\circ Z$ 操縦性試験で現われた保針運動性能の応答性が良くないので、他船を避航するときには操船に十分余裕をもって対処するよう注意しなければならない。

3. VLCC の航跡による操船シミュレーション

3.1 シミュレーションの計算プログラム

実際の操船に近いシミュレーションを可能にするには、海上試運転成績をベースにして模型実験データを利用し各種船舶の実船実験、模型船実験による集積データを転用することにより操縦運動方程式を組立て、ある程度厳密な性能の表現を犠牲にしても通常操船の性能を確保して運動を模擬する必要がある。ここでは 10 万 DW トンタンカー A 船と同じ喫水をもつ 2/3 載貨状態の 23 万 DW トンタンカー B 船を取りあげた。

3.1.1 実船実験による性能推定

(1) 旋回試験による性能推定

A 船と B 船の旋回試験結果を表 3 に示す。志波の模型実験結果⁽²⁾から舵面積比 1/67, 舵角 15° の場合の値を推定すると, advance については差は小さく旋回径は 2/3 載貨状態の B 船の方が 200 m 程度大きく出る。

定常旋回試験の性能は一般に横軸に舵角 (δ), 縦軸に無次元化した旋回角速度 ($r' = \dot{\phi}(L/V)$) で表示され, その旋回特性曲線はタンカーの場合概して S 字曲線となり, 原点における曲線の傾斜角が針路安定性の目安とされる。今回の実験では舵角 $15^\circ, 35^\circ$ の結果のみであったから運動の弱い原点付近の性能推定はできなかった。

(2) Z 操縦試験による性能推定

Z 試験解析から得られる特性値 K', T' は一般に運動の非線型性のため, 旋回角速度の平均値 $r'_m (= \dot{\phi}_{\max} / \sqrt{2} \times L/V)$ によって変化する。したがって r'_m に対して $1/K', 1/T'$ を表示すると図 12 のようになり, 大舵角による Z 試験ではより安定な特性を示すため, r'_m が大きい程 $1/K', 1/T'$ は大きくなる。

表 3 操船シミュレーション供試船の旋回試験成績

DW (船名)	10万トン (A)	23万トン (B)		
L_{pp} (m)	245	305		
載 貨 状 態	満 載	2/3 載	貨	満 載
平均喫水(m)	14.91	14.52		19.65
排水トン(t)	121,700	191,000		268,000
船 速 (k/t)	15.4	10.5		16.0
舵 角 (度)	35	15	35	35
Advance (S)	730	1150	705	960
" (P)	715	—	—	950
Tactical dia.				
(S)	795	1708	612	1126
(P)	790	—	—	1091
舵 面 積 比	1/67	1/45		1/61

図 12 Z 操縦性試験の結果 (2/3 載貨 B 船)

このことを旋回特性曲線をかりて説明する。運動方程式が1次系非線型で表わせるとすれば、

$$T_0' \ddot{r}' + \dot{r}' + \alpha' r'^3 = K_0' \delta$$

となる。ここに K_0' , T_0' は r' が零における K' , T' である。

1次系応答方程式において線型と非線型を比較すると、 $K_0'/T_0' = K'/T'$ とみれば

$$(1/K')r' = (1/K_0')r' + (\alpha'/K_0')r'^3 (= \delta)$$

であるから、 $(1/K') = (1/K_0')(1 + \alpha' r'^2)$ となる。 $1/K'$ は r' の2次式となるから $(1/K') \sim r'$ 曲線は $r'=0$ で $1/K_0'$ を通り、上に凹形の2次曲線となる。本実験結果の図12から求めると

$$1/K_0' = -0.075, \alpha' = -156 \text{ (1/rad}^2\text{)}$$

$$1/T_0' = -0.05 \text{ (ただし } K_0'/T_0' \div K'/T' = 0.667 \text{ とする)}$$

を得る。 K_0' または T_0' が負の値となっているので、少しばかり針路不安定な特性であることを示す。これから得られる旋回特性曲線を図13に示す。

次に、Z試験の位相面軌跡 ($\dot{\psi} \sim \psi$ 曲線) を描き運動特性を調べてみる。 10° Zおよび 15° Zの位相面軌跡は運動が2次系非線型の方程式

$$T_{10}' \cdot T_{20}' \ddot{\psi}' + (T_{10}' + T_{20}') \dot{\psi}' + \alpha' \psi'^3 = K_0' \delta + K_0' T_3' \cdot \dot{\delta}$$

で最もよく表現されることを示している (図14)。また位相面形状から推察すると針路不安定な傾向をもつようで、このことは前記のZ試験結果と一致する。これを敢えて1次系非線型近似で表現するとして、 $\dot{\psi}$ の切線の値を $K_0\delta/T_0$, $\dot{\psi}=0$ 以降の曲線の平均傾斜 ($d\dot{\psi}/d\psi$) を $1/T_0$, それからのずれ量を α で修正して

$$\ddot{\psi} = (-1/T_0)\dot{\psi} - (\alpha/T_0)\dot{\psi}^3 + (K_0/T_0) \cdot \delta$$

から特性値を求めてみると

$$1/K_0' = 0.4545, \alpha' = 2.298 \text{ (1/rad}^2\text{)}$$

$$1/T_0' = 0.3125 \text{ (} K_0'/T_0' = 0.687 \text{)}$$

となる。これらの特性値は針路安定な傾向にあることを示しているが、実際の運動と比較して操舵直後の $\dot{\psi}$ が小さく見積られるため応答が遅くなる。この旋回特性曲線も図13に併記しておく。

図14 15° Z試験の実測とシミュレーションによる位相面軌跡の比較

図13 旋回特性曲線

(3) 後進惰力試験および停止惰力試験の性能

本実験の解析で得られた結果は、シミュレーションに必要な資料としては供せず、後進惰力試験で左旋回に入る現象を示しただけに留まっている。一般的にはこのようなプロペラ操作では右旋回に入る傾向が多い⁽³⁾。

3.1.2 シミュレーションの運動方程式とその係数

操縦運動は前後進運動、回頭運動および横流れ運動の3運動で水平面内の運動を厳密に記述できるが、航跡に大きな影響を与えない横流れ運動を省略して考え、前後進運動および回頭運動は互に影響を与え合う次式で表される⁽³⁾⁽⁴⁾。

(1) プロペラ正転中の運動 (プロペラ回転数 $n \geq 0$, 船速 $V > 0$)

$$\begin{aligned} T_0' \left(\frac{L}{V} \right) \ddot{\psi} + \dot{\psi} + \alpha' \left(\frac{L}{V} \right)^2 \dot{\psi}^3 \\ = K_0' \cdot \frac{V}{L} \cdot g(s) \cdot \delta + \frac{V}{L} \cdot \frac{\alpha R'}{J s^2} \end{aligned}$$

$$\dot{V} + a_{vv} \cdot V^2 + a_{rr} \cdot \dot{\phi}^2 + a_{ss} \cdot V^2 \cdot \delta^2 = a_{nn} \cdot n^2 + a_{nv} \cdot nV$$

ここに、 $g(s)$: プロペラ回転数増減影響の項

a_R'/J_S^2 : プロペラ回転による旋回影響の項

a_{vv} : 船体前進による抵抗係数

a_{rr} : 旋回運動による抵抗係数

a_{ss} : 舵角による抵抗係数

a_{nn} および a_{nv} : プロペラの性能による係数

(2) プロペラ逆転中の運動 ($n < 0$, $V > 0$)

$$T_0' \left(\frac{L}{V} \right) \ddot{\phi} + \dot{\phi} + \alpha' \left(\frac{V}{L} \right)^2 \cdot \phi^3 = \frac{V}{L} \frac{a_R'}{J_S^2}$$

$$\dot{V} + a_{vv} \cdot V^2 + a_{rr} \cdot \dot{\phi}^2 = a_{nn} \cdot n^2 + a_{nv} \cdot nV$$

プロペラ逆転中の運動では舵効はなく、また舵角による船速低下も発生しない。ここに実船試験から与えることのできる係数は T_0' , α' , K_0' である。

本シミュレーションでは Z 試験との一致度から位相面結果を採用する。また本船の模型実験結果から得られた係数は a_{vv} (実船換算の値), a_{nn} ($n \geq 0$) の 2 係数と伴流係数 w のみで、他の $g(s)$, a_{rr} , a_{ss} の 3 係数は本船型に近いタンカー模型船の数値を採用する。また a_{nv} ($n \geq 0$) の係数は、船速と回転数の対応から、さらに a_R'/J_S^2 の数値は模型実験結果のパターンを踏襲しながらプロペラの旋回影響が大きく効く後進惰力試験から決定することにする。なお選ばれた諸係数は深水における数値であって、水深/喫水が 2.0 以下で現われ始める浅水影響は考慮していない。

3.1.3 シミュレーションの計算プログラムと実船試験結果との比較

シミュレーション計算には D-A 変換装置付属のミニコンピュータを使用した。X-Y レコーダによる航跡表示と同時に時刻、船速、方位角等のタイピュータ印字をしながら、適宜キーボードからの操縦命令を受け入れることができるようにプログラムされた。

実験との比較は次のとおりである。

(a) Z 操縦性試験 ($15^\circ Z$, $10^\circ Z$) 結果では船速一定の場合、回頭角の一致度は良い。一方、船速低下を考えたシミュレーションでは回頭性能が悪い。(b) 後進惰力試験結果では、停止手前の回頭運動がシミュレーションでは小さくて一致しない。そのために停止手前の速度低下は小さくて合致していないが、全体として船速の低下はよく一致しているといえる (図 15, 16)。(c) 停止惰力試験の実験では、針路不安定の特性と初期旋回角速度を持っていたので大き

図 15 後進惰力試験の実測値とシミュレーションとの比較

図 16 後進惰力試験の航跡とシミュレーション結果との比較

図 17 右 35° 旋回力試験の回頭角 ϕ , 船速 V の実測値とシミュレーション結果

図 18 右 35° 旋回圈の実測値とシミュレーション結果

な回頭運動を誘起し、回頭角の一致はよくない。一方、速力低下も初期の場合を除いて実験の方が大きく出ており一致しないが、これは回頭運動による船速低下が影響しているであろう。(d) 旋回力試験の旋回特性曲線(図 13) から推察できるように、35° 旋回の旋回径などはシミュレーションの方が大分大きくなる。弱い回頭運動による速度低下の少ないことが原因であろう。しかし旋回初期の航跡はほぼ一致している(図 17, 18)。

シミュレーション結果の特徴としては実船よりも旋回性能、停止性能ともに悪い方向にあるが、初期の旋回、船速低下等は実船とほぼ近いといえる。このためシミュレーションによる評価の点では安全側になると思われる。

3.2 入港操船のシミュレーション

ここでは 23 万 DW トンタンカー B 船が 10 万 DW トンタンカー A 船の満載喫水と同じ喫水で、番ノ州シーバースに入港する場合を想定し、A 船と同じ進入コースライン上を無理なくたどることが可能かどうか、次の設定条件に従い操船のシミュレーションを行った。

(1) シミュレーションの設定条件

(a) A 船の入港時の実際の船位から標準化したコースラインを作成する(図 19)。(b) 変針時の操舵角は VLCC では大舵角をあまり取らないという原則に立ち、15°, 20°, 25° の 3 通りとし、あて舵はそれぞれの舵角の 1/2 とする。(c) プロペラ逆転の機関発動は Half astern を原則として“Full astern”をかけない。(d) 初めの船速を 6.0 ノットとする。(e) 潮流は初めの進入コースにそった流速 0.5 ノットの順流とし、さらに ±0.5 ノット差の 0 ノット、1.0 ノットを加えた 3 流速とする。(f) 風の影響は考えない。

(2) シミュレーションの操船手順

操舵、機関使用の要領は最も簡単な次の手順による。すなわち、(a) 初めの変針には常用舵角 15° をとり、(b) 新針路から舵角相当分を差引いた手前の回頭

図 19 満載 A 船入港時のコースライン

図 20 2/3 載貨B船の入港時の操船
シミュレーション結果

Aの位置を小瀬居島灯台の船からの方位角にして 3° 程度手前の時機に転舵の発令をするか、或いは実際はもう少し細かく操舵すれば単独で制御できる範囲とみられる。

したがって 10 万 DW トンタンカーの満載喫水と同じ喫水の載貨状態にある 23 万 DW トンタンカーが番ノ州シーバースに入港する場合を想定した操船シミュレーション結果では(入港速力 6 ノット), 入港操船が技術面で特に困難ではないと思われる。しかし入港操船のため VLCC が自力で着桟する場合、引き船の援助があればさらに容易となるから引き船の使用等十分な配慮が望ましい。

4. ま と め

およそ次の諸点をあげることができる。

(1) 取り上げた海上試運転成績の資料は限られたものであるが、総じていえば 10 万 DW トン級型と 20 万 DW トン級型の VLCC の操縦性は回頭運動にしる前後進の停止運動にしる大きな運動を誘起する操縦運動では必ずしも差があるとはいえず、大きく船型に依存するといえるだろう。ただ 10° Z 操縦性試験で現われた保針運動性能の応答がよくなかったように、他船を小さな運動で避航するような場合は応答の緩やかさに差がみられ大型化するほどこの傾向は強い。

後進惰力では停止に至る所要時間や head reach には特に大きな差があるといえないが、side reach は船が大型化するほど多少大きく出ている。

(2) VLCC の航跡による操船シミュレーションをする場合、今回の簡便な方法では旋回角にして 90° 回頭以降、減速惰力にして停止直前の航跡まで合致させるに至らなかった。しかし入港操船で事例を超えない変針角、或いは低速航行の条件を設定するならば、実用に供し得るものと思われる。

終りに、事例研究を進めるに際してはアジア共石坂出工場のスタッフの御協力を頂いた。また検討にあたっては本学の松本教授、原助教授から御助言を得、実船実験および解析には山本守技官、山本明学生の尽力によるところが多い。ここに記して感謝の意を表します。

角で、初めの舵角の半分のあて舵をとる。(c) 船の回頭角速度 $\dot{\psi}=0$ になれば舵中央に戻し、と同時にプロペラ回転数を遊転させる程度に下げてそのままのコースで航走する。(d) 小瀬居島の山頂を East にみたとき引き船の制動力に対応させて Half astern をかけ、船が停止するまで進め、船が停止すれば操船終了とする。

これは常識的な操船法であるから、A 船の標準コースライン上に B 船がうまく乗ることができれば、あとは多少の外力が船に働くことがあろうとも、細かい操舵、機関の使用、引き船の援助によって効果的な操船が可能であるとの判断に立った。

(3) シミュレーション結果

初めの変針に舵角 15° , 20° , 25° を用いた操船シミュレーションを行ったが、舵角 15° の場合においても図 20 に示すように、舵ききの悪い順潮 0.5 ノットを標準にとると、上記の操船手順においても B 船は A 船のコースラインに近い航跡で進入できることを示している。

潮流が順流 1.0 ノット近くになると、変針操舵点

参 考 文 献

- (1) 谷 初蔵, VLCC に関する十章, 成山堂 (昭 52. 3)
- (2) 志波久光外 3 名, 模型船による最適舵面積の研究, 造船協会論文集, No. 105 (昭 34. 7), p. 81
- (3) 田島幸作外 3 名, 操縦性能の縮率影響に関する一資料, 関西造船協会, No. 129 (昭 53. 6)
- (4) 日本造船研究協会 SR 151, 大型化に対応する船舶操縦システムの調査研究, 日本造船研究協会資料, No. 247 (昭 51. 3), No. 265 (昭 52. 3)

質 疑 応 答

小川陽弘 (船舶技研)

旋回時の速度低下率が大型船ほど少くなっているのは興味ある結果と思いますが, 主としてどのような理由によるものでしょうか。

烏野慶一

旋回時の速度低下の主な原因は旋回運動による抵抗増加です。本文の応答方程式では

$$a_{rr}\dot{\phi}^2 \left(= L \cdot \frac{m' + c_m \cdot m_{y'}}{m' + m_{x'}} \cdot l_p' \cdot \dot{\phi}^2 \right)$$

に相当します。

この値は概略, 船の長さ L と回頭角速度 $\dot{\phi}^2$ に比例することになり, 船の長さが大きくなると回頭角速度の発達が遅くなって抵抗は小さくなります。ところで回頭角速度は大略, $K\delta \cdot (1 - e^{-t/T})$ で表わすことができますので, 減加速度 $a_{rr} \cdot \dot{\phi}^2$ はおよそ旋回力指数 K の 2 乗と船の長さ L に比例し, 一方, 時間は L に比例しますから, 結局 90° 回頭時点での速度の落ちは $1/L$ に比例することになります。すなわち船の長さが大きくなると速度が落ちないことになります。